



TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

As alterações da acuidade auditiva em condições de microgravidade

David Cartaxo Gomes

JUNHO'2019



TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

As alterações da acuidade auditiva em condições de microgravidade

David Cartaxo Gomes

Orientado por:

Mafalda Carvalho MSc

Dr. Marco Simão

JUNHO'2019

RESUMO

Desde os primórdios da Humanidade que o ser humano tem olhado com curiosidade para o Espaço que o rodeia. Todavia, a exploração espacial só ganhou novos contornos a partir dos anos 60, altura em que decorreram as primeiras viagens espaciais tripuladas. A microgravidade refere-se à ausência quase completa da sensação de peso, tendo um papel importante na readaptação do corpo humano à exploração espacial, nomeadamente no que diz respeito ao ouvido. O ouvido é um órgão humano responsável pela audição e pelo equilíbrio, sendo a acuidade auditiva a capacidade de distinguirmos entre sons diferentes. A perda de acuidade auditiva é uma das consequências conhecidas das viagens espaciais, sendo, todavia, a etiologia desta perda ainda não muito esclarecida.

Nas viagens espaciais, o nível de ruído é muito alto, o que, em conjugação com a vibração induzida a bordo dos objetos espaciais, poderá desempenhar um papel importante no deteriorar da audição dos astronautas. Estudos recentes mostram também que existem alterações significativas das sinapses das células ciliadas do utrículo de mamíferos, pelo que poderá este ser mais um fator que contribui para esta perda de acuidade auditiva. O cérebro humano apresentará também uma certa plasticidade com alterações da substância branca a ocorrer e a desempenhar um papel na diminuição da acuidade auditiva, em articulação com as alterações da distribuição da água livre intracraniana. Por fim, apesar das diferenças biológicas existentes entre os sexos, não parece haver diferenças significativas entre estes no que às alterações da acuidade auditiva diz respeito, sendo, todavia, os resultados atuais nesta área ainda escassos e pouco significativos.

Em suma, as alterações da acuidade auditiva com a microgravidade a que os astronautas são expostos no Espaço são ainda pouco estudadas e carecem de um melhor esclarecimento etiológico. À luz do conhecimento atual, pensa-se que a etiologia destas alterações é multifatorial, sugerindo-se que mais trabalhos sejam realizados nesta área.

Palavras-chave: Astronautas, Microgravidade, Ouvido, Audição, Etiologia

O Trabalho Final exprime a opinião do autor e não da FML.

ABSTRACT

Since the early days of mankind that human beings have been curious about the Space that surrounds them. However, Space exploration only began in the sixties when the first humans embarked on the first outer space travels. Microgravity refers to the condition where gravity seems to be very small; it has a very important role in human body readaptation to space exploration, namely in the readaptation of the ear. The ear is the human organ responsible for hearing and for balance, with hearing ability being the capacity to distinguish between different sounds. The loss of hearing ability is one of the known consequences of space flights. The etiology of this loss is, however, not well established.

In space trips, noise level is very high, which, in combination with motors' vibration within spacecrafts, may have an important role in astronauts' hearing deterioration. Recent studies also show that significant changes occur in hair cells of the mammalian utricle, which can be a contributing factor for hearing loss. Human brain also has some plasticity. Changes in white matter, in conjunction with changes in the distribution of intracranial free water, may have a role in the hearing loss. Finally, in spite of biological differences between male and female brains, sex doesn't appear to affect hearing ability. Nonetheless, the results in this matter are still scarce and with low level of significance.

In conclusion, changes in hearing ability as a consequence of microgravity conditions to which astronauts are exposed are still not very well studied and demand a better etiological clarification. In light of the present knowledge, these changes appear to be multifactorial; more studies should be conducted in this area for a better understanding of the mechanisms involved.

Keywords: Astronauts, Microgravity, Ear, Hearing, Etiology

The Final Paper express the author's opinion and not FML's.

ÍNDICE

Resumo.....	3
Abstract	4
Índice de Figuras.....	8
Introdução	10
Exploração espacial	10
O ouvido	11
Ouvido externo	13
Ouvido médio	14
Ouvido interno	17
A Acuidade Auditiva.....	19
A Etiologia da perda auditiva nos astronautas.....	20
Modificações Sinápticas nas células ciliadas.....	23
Efeitos do Sexo na adaptação ao espaço.....	25
Substância branca.....	27
Conclusão	29
Agradecimentos	31
Referências Bibliográficas	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Ouvido (em corte frontal)	12
Figura 2 - Pavilhão auricular direito (vista externa).....	13
Figura 3 - Visão otoscópica da membrana timpânica direita	14
Figura 4 - Visão medial da parede lateral do ouvido.....	15
Figura 5 - Vista medial dos ossículos.....	16
Figura 6 - Vista ântero-lateral do labirinto ósseo direito (à esquerda) e do labirinto ósseo direito dissecado (à esquerda).....	18
Figura 7 - Audiogramas pré e pós-viagem espacial comparando o nível de audição e a frequência	20
Figura 8 - Densidade das sinapses ciliadas do utrículo: controlo vs. microgravidade ..	23
Figura 9 - Perfil auditivo de homens e mulheres astronautas por idade.....	26

INTRODUÇÃO

EXPLORAÇÃO ESPACIAL

Desde os primórdios da Humanidade, o ser humano tem olhado para o céu e imaginado como será aquilo que nos rodeia, o Espaço. Durante o século XX, a exploração espacial começou a ganhar novo fôlego, principalmente durante a II Guerra Mundial, com as grandes potências mundiais a investirem em armas cada vez mais rápidas e a apostarem em encontrar formas de atingir velocidades elevadas que pavimentaram o caminho para a exploração espacial, recorrendo a foguetes, por exemplo. Durante a Guerra Fria, tanto da parte dos Estados Unidos da América (E.U.A.) como da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (U.R.S.S.), os esforços de conquistar o espaço ganharam nova força. Assim, em 1957, foi lançado o primeiro satélite artificial para o Espaço pela U.R.S.S. e, apenas 4 anos depois, o russo Yuri Gangarin tornou-se no primeiro Homem a orbitar o planeta Terra. Poucos meses depois, foi a vez de Alan Shepard fazer história pelos E.U.A., tornando-se o primeiro americano a viajar pelo Espaço. A 20 de julho de 1969, fez-se história quando os E.U.A. conseguiram levar a primeira missão tripulada à Lua, com o eternamente conhecido Neil Armstrong. Desde então, a exploração espacial não tem parado, tendo decorrido várias missões espaciais tripuladas. A presença espacial humana tem-se mantido praticamente constante desde 1986 com as estações espaciais, destacando-se a Estação Espacial Internacional (ISS) que orbita o nosso planeta desde 1998.¹

Apesar de sempre ter feito parte do imaginário humano, a exploração espacial é ainda uma conquista recente da espécie humana, com menos de um século de história. A Medicina Aeroespacial é a área da medicina que se foca no tratamento clínico, pesquisa e suporte operacional da saúde, segurança e performance de tripulações e passageiros de veículos aéreos e espaciais, juntamente com o pessoal de suporte que opera estes tipos de veículos. Assim, verificamos que, mesmo dentro da Medicina Aeroespacial, a questão dos astronautas é uma subárea com poucos dados e pouco conhecimento científico. No frenesim da exploração espacial, muitas das questões da saúde dos tripulantes de objetos espaciais eram descuradas e apenas recentemente começaram a ser estudados os efeitos que estas missões espaciais poderão ter na saúde dos mesmos. Muitos dos avanços que

têm sido feitos na área da saúde dos astronautas encontram-se em extrema articulação com os desenvolvimentos no estudo dos pilotos e tripulação dos voos comerciais, estando estas duas áreas extremamente ligadas.²

Dentro das questões relacionadas com a exploração espacial, é de destacar a microgravidade, ou seja, a ausência quase completa de sensação de peso. Na verdade, não existe uma ausência total de gravidade, o que se verifica é que, na órbita terrestre, todos os objetos tendem a “cair” à mesma velocidade em direção ao centro da Terra, pelo que todos os objetos à volta da Terra tendem a parecer estar a flutuar. Em teoria, à medida que nos afastamos da Terra, o efeito da gravidade terrestre vai diminuindo, mas há que considerar que existem muitos outros corpos celestes com massa suficiente para atrair os corpos próximos deles.

Existem, todavia, poucos dados acerca dos efeitos que a microgravidade poderá ter na saúde humana, e no ouvido humano em particular, pelos fatores já acima expostos. Além disso, poderão existir efeitos da microgravidade na estrutura cerebral em si, ao nível da substância branca, que poderão ter um papel importante nas alterações funcionais verificadas. De acordo com o conhecimento atual, os efeitos da microgravidade são menos dramáticos de forma aguda, mas, possivelmente, mais preocupantes de forma permanente, quando comparados com os efeitos das altas pressões nos movimentos espaciais.³

O OUVIDO

O ouvido (Figura 1) é o órgão responsável pela audição e pelo equilíbrio. Classicamente, é dividido em três componentes: o ouvido externo, médio e interno. O ouvido externo encontra-se preenchido por ar e inclui o pavilhão auricular, o canal auditivo externo e a membrana timpânica que separa o ouvido externo do ouvido médio. O ouvido médio encontra-se também preenchido por ar e inclui a cavidade timpânica, os ossículos (martelo, bigorna e estribo) e a trompa de Eustáquio. O ouvido interno encontra-se preenchido por fluido e contém o órgão de Corti (que é responsável pela detenção de som e que se liga ao cérebro através do nervo coclear) e o sistema vestibular (que é

responsável pelo equilíbrio e orientação espacial e que se conecta ao cérebro através do nervo vestibular).^{4,5,6}

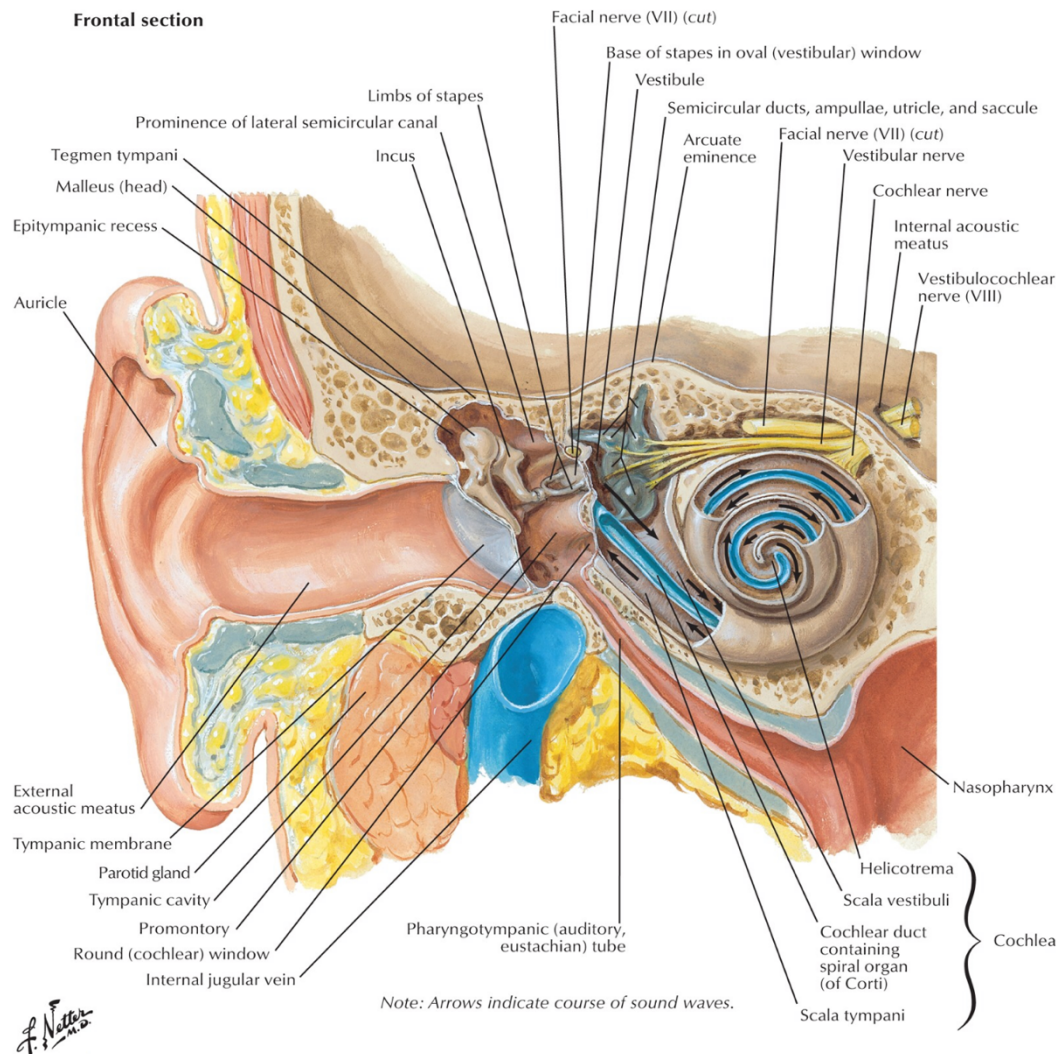


Figura 1 - Ouvido (em corte frontal)

Nesta imagem, observa-se um corte frontal do ouvido, sendo possível observar as estruturas que integram os ouvidos externo, médio e interno.

Fonte: Netter, F.H. (2014). *Netter's Atlas of Human Anatomy*. Elsevier.

OUVIDO EXTERNO

Tal como indica o nome, esta é a porção externa do ouvido. Formado pelo pavilhão auricular (Figura 2), é a parte visível do ouvido, consistindo em cartilagem auditiva. A sua função é receber as ondas auditivas, tendo um papel importante na audição direcional.

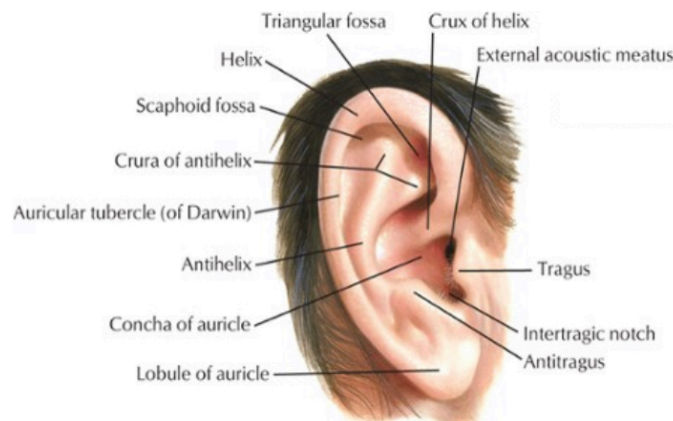


Figura 2 - Pavilhão auricular direito (vista externa)

Fonte: Netter, F.H. (2014). *Netter's Atlas of Human Anatomy*. Elsevier.

O canal auditivo externo é formado por cartilagem no seu terço externo e por osso nos dois terços internos. Encontra-se coberto por epitélio escamoso estratificado queratinizado ao longo de todo o canal, sendo este tipo de epitélio que cobre também a membrana timpânica. Este apresenta glândulas que produzem o cerúmen, uma secreção amarelo-acastanhada com propriedades bactericidas. A sua função é a transmissão das ondas sonoras à membrana timpânica, servindo como proteção face às agressões externas da mesma.

A membrana timpânica (Figura 3) é uma membrana fina, com uma forma mais ou menos cônica, apresentando uma camada externa cutânea, uma camada média fibrosa e uma camada interna mucosa. Nesta membrana, destacam-se o umbigo, o ponto onde os ossículos, através do cabo do martelo, se ligam à membrana timpânica, e o cone de luz, um reflexo de luz com formato cônico resultante da luz do otoscópio no quadrante ântero-inferior. Esta membrana tem como função vibrar com as ondas sonoras, transmitindo-as aos ossículos do ouvido médio.^{4,5,6}

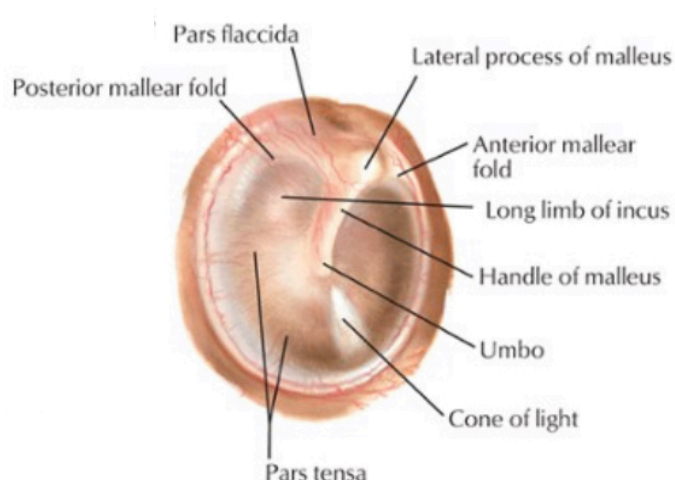


Figura 3 - Visão otoscópica da membrana timpânica direita

Fonte: Netter, F.H. (2014). *Netter's Atlas of Human Anatomy*. Elsevier.

OUVIDO MÉDIO

O ouvido médio encontra-se internamente à membrana timpânica e externamente à janela oval do ouvido interno, sendo constituído pela cavidade timpânica, pela apófise mastoideia e pela trompa de Eustáquio. Tem como função a transmissão das ondas sonoras que chegam através do ar para o ouvido interno através dos ossículos.

A cavidade timpânica (Figura 4) é um espaço preenchido por ar que se encontra localizado na porção petrosa do temporal, contendo os ossículos, músculos e nervos e estando ligada à cavidade nasofaríngea pela trompa de Eustáquio. A janela oval é uma abertura localizada na base da cóclea e coberta pela platina do estribo, sendo através desta estrutura que as ondas sonoras são transmitidas ao ouvido médio. A janela redonda é uma abertura coberta por uma membrana situada abaixo da janela oval. As vibrações transmitidas pela platina do estribo à janela redonda através da perilinfa que causa uma vibração oposta à vibração causada pela janela oval. Os danos na janela redonda causam surdez neurossensorial, sendo exemplos destes danos o barotrauma por mergulho.

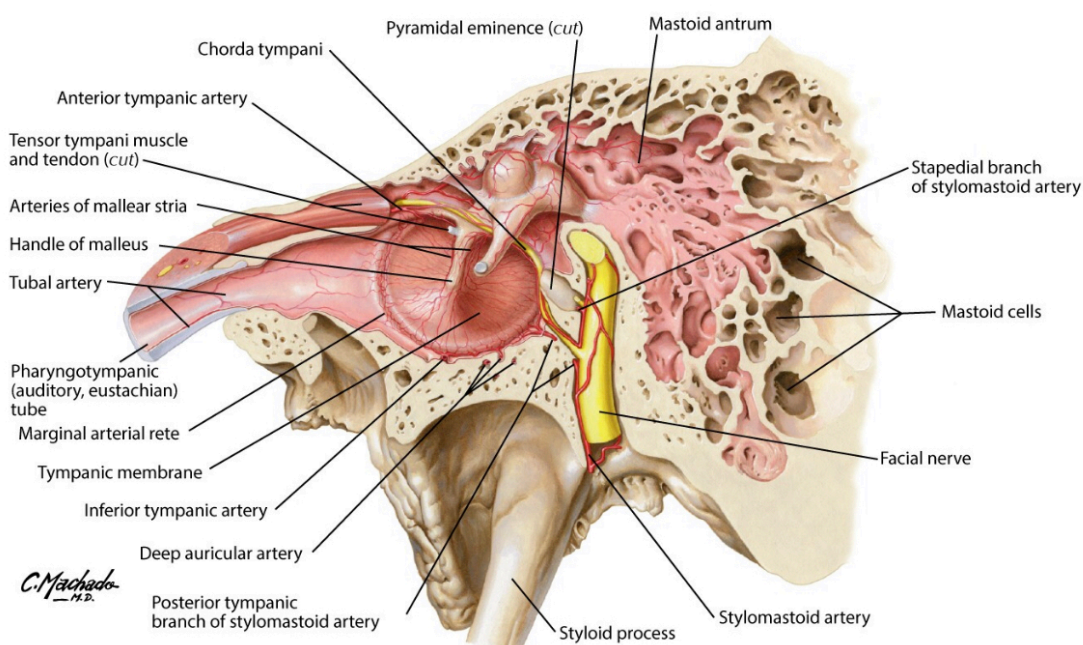


Figura 4 - Visão medial da parede lateral do ouvido

Fonte: Netter, F.H. (2014). *Netter's Atlas of Human Anatomy*. Elsevier.

Os ossículos (Figura 5) são três pequenos ossos no ouvido médio que formam uma cadeia ossicular que liga externamente a membrana timpânica à janela oval do ouvido interno, internamente. O martelo insere-se lateralmente na membrana do tímpano, sendo o ossículo mais externo. A bigorna liga-se externamente ao martelo e internamente ao estribo. O estribo insere-se internamente na janela oval, sendo o ossículo mais interno. Esta cadeia ossicular tem como funções receber as vibrações auditivas da membrana timpânica e amplificá-las, transmitindo-as ao fluído do ouvido interno através da janela oval com o mínimo de perda de energia.

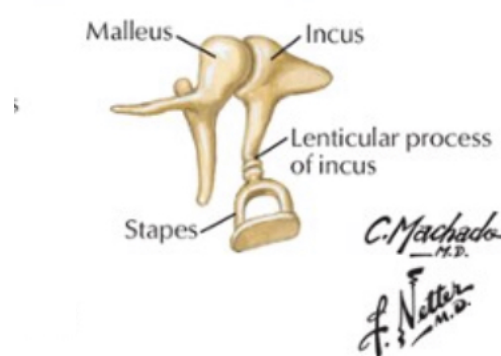


Figura 5 - Vista medial dos ossículos

Fonte: Netter, F.H. (2014). *Netter's Atlas of Human Anatomy*. Elsevier.

A trompa de Eustáquio é uma estrutura que liga o ouvido médio à nasofaringe, tendo como funções controlar a pressão no ouvido médio e permitir a equalização da pressão de ambos os lados da membrana timpânica. Usualmente, encontra-se fechada durante a deglutição. Durante ou após um episódio inflamatório, a trompa de Eustáquio pode encontrar-se bloqueada pelo edema da mucosa ou por muco, o que pode resultar em diminuição da acuidade auditiva, dor e sensação de pressão no ouvido afetado.

O músculo tensor do tímpano é um músculo que liga as margens cartilaginosas e ósseas da trompa de Eustáquio ao cabo do martelo. A sua contração move o martelo internamente, provocando a tensão da membrana do tímpano e aumentando a pressão do líquido contido no vestíbulo. É innervado pelo nervo pterigoideu médio, um ramo do nervo mandibular.

O músculo estapédico é o mais pequeno músculo do corpo humano e liga as margens cartilaginosas e ósseas da trompa de Eustáquio ao estribo. A sua contração move

o estribo externamente, amortecendo as suas vibrações e permitindo-lhe controlar a amplitude das ondas sonoras que estão a ser transmitidas ao ouvido interno, isto é, reduzindo a transmissão de sons muito altos a esta parte do ouvido. A inervação deste músculo é feita através de um ramo do nervo facial, sendo que o enfraquecimento deste músculo, por exemplo, devido a uma paralisia do facial, pode resultar em hiperacusia.

A apófise mastoideia é a região posterior ao pavilhão auricular que se vai tornando pneumatizada com a idade.^{4,5,6}

OUVIDO INTERNO

O ouvido interno é a porção que contém os órgãos da audição e do equilíbrio, estando situado na porção petrosa do temporal. É constituído pelo labirinto e pela cóclea (Figura 6).

O labirinto é constituído por uma porção óssea e uma porção membranosa. A primeira é constituída pela parede óssea do ouvido interno no osso temporal, contendo o vestíbulo e três canais semicirculares além da cóclea, encontrando-se revestida por periosteio. Quanto à porção membranosa, encontra-se dentro da porção óssea, estando separado desta por perilinfa, e encontra-se preenchida no interior por endolinfa. Contém os órgãos sensoriais e uma série complexa de espaços preenchidos por fluido.

A cóclea é um canal ósseo enrolado em torno de um eixo cónico, estando preenchida por fluido e inserida no labirinto. Esta apresenta diversas camadas, tendo como função essencial a transformação de vibrações aéreas para sinais neuronais. O ducto coclear contém células ciliadas, células especializadas situadas na membrana basilar e que têm modificações apicais denominadas estereocílios. As vibrações levam à estimulação de localizações específicas na membrana basilar dependendo da frequência sonora. Os sinais neuronais detetados pelas células ciliadas do órgão de Corti são transmitidos a neurónios bipolares do gânglio coclear através da parte coclear do nervo vestibulo-coclear e deste para os núcleos ventral e dorsal da parte superior do bulbo. Posteriormente, há uma integração ao nível do núcleo olivar superior, seguindo bilateralmente pelo lemnisco lateral até ao colículo inferior. Daqui as fibras passam para

o corpo geniculado interno, seguindo até ao córtex auditivo primário e amígdala pelas radiações auditivas.

O sistema vestibular encontra-se também inserido no ouvido interno, podendo existir alterações deste sistema com as altas pressões ou condições de microgravidade.^{4,5,6}

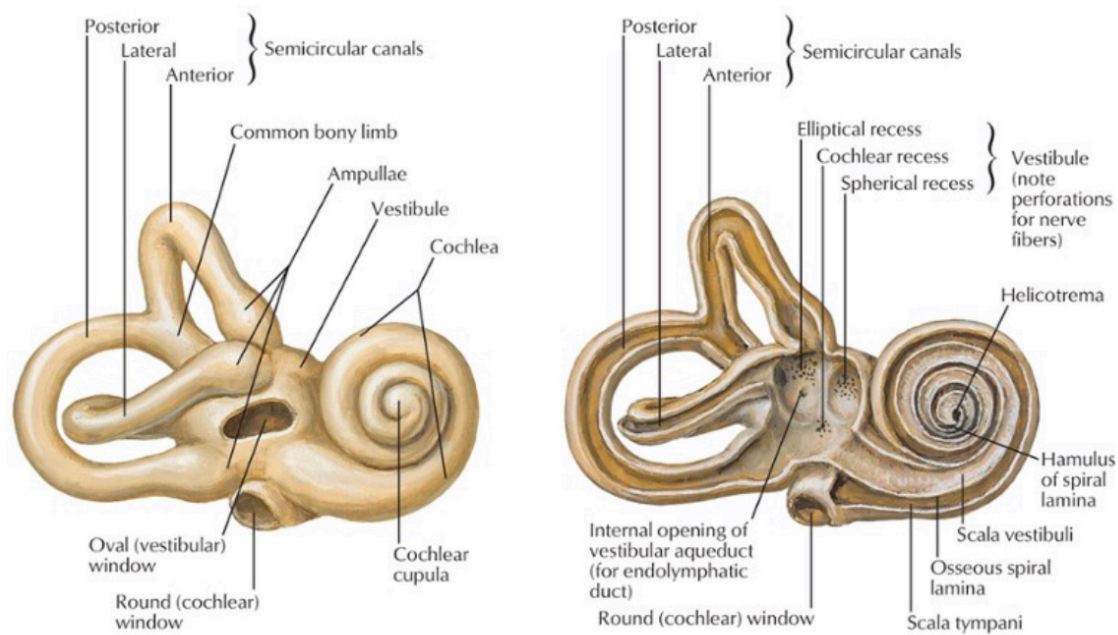


Figura 6 - Vista ântero-lateral do labirinto ósseo direito (à esquerda) e do labirinto ósseo direito dissecado (à esquerda)

Fonte: Netter, F.H. (2014). *Netter's Atlas of Human Anatomy*. Elsevier.

A ACUIDADE AUDITIVA

Para que consigamos ouvir um som, ele tem de estar acima de um dado nível, ou seja, tem de ser capaz de induzir um limiar de vibração ao nível do ouvido interno, sendo este limiar considerado de 0 decibéis. A acuidade auditiva refere-se à capacidade de distinguirmos entre sons diferentes, com limiares auditivos diferentes. O ser humano encontra-se constantemente exposto a sons, sendo que o sistema auditivo poderá ser afetado pela exposição a estes. À medida que os sons vão exercendo maior pressão no ouvido interno, são ouvidos como sons mais altos, sendo que sons superiores a 90 decibéis são capazes de danificar cronicamente a audição se existir uma exposição muito prolongada. Para sons superiores a 110 decibéis, existe algum desconforto e, para sons superiores a 130, pode mesmo existir uma sensação dolorosa, sendo que sons superiores a esse limiar podem induzir perda de audição aguda. Deste modo, existem determinadas profissões em que existe uma exposição prolongada a níveis de ruído elevados, podendo existir, portanto, danos na estrutura do ouvido e, portanto, alterações da acuidade auditiva importantes.⁸ Os astronautas são uma das populações em que a acuidade auditiva poderá estar alterada, sendo os motivos para que tal aconteça ainda geradores de discussão e debate na comunidade científica.

Nos últimos anos, a perda de acuidade auditiva permanente ou temporária revelou-se um resultado das viagens espaciais de longa duração, sendo que, em 33% dos astronautas, o ambiente espacial causou danos auditivos permanentes.⁹

Pensou-se inicialmente que esta perda da acuidade auditiva se poderia dever aos níveis elevados de ruído a que os astronautas estavam expostos. Todavia, o padrão da perda não era sobreponível ao expectável para os níveis de ruído (72 decibéis) a que estavam expostos, tal como será explicado mais à frente. A evidência científica atual também não consegue estabelecer uma ligação clara entre os níveis de ruído e a perda auditiva, sugerindo que poderão existir outras etiologias na base desta perda auditiva.⁹

A ETIOLOGIA DA PERDA AUDITIVA NOS ASTRONAUTAS

A perda da acuidade auditiva com as viagens espaciais é, hoje em dia, uma realidade inegável que afeta uma percentagem significativa de astronautas.^{9,10} Verifica-se que uma única missão na ISS é capaz de produzir um trauma sonoro suficiente para haver uma alteração temporária e permanente nos níveis de audição, particularmente para frequências entre os 500 e os 2000 hertz (Figura 7).¹⁰

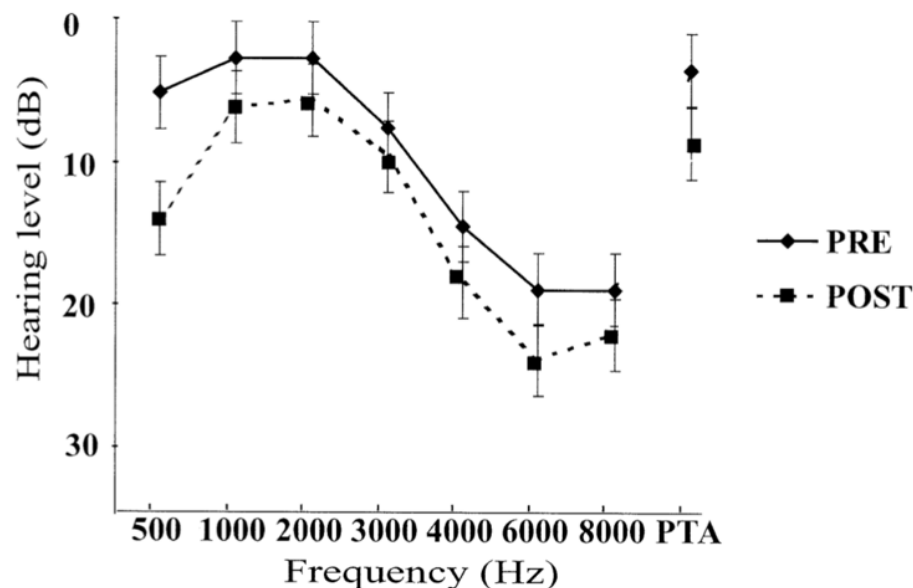


Figura 7 - Audiogramas pré e pós-viagem espacial comparando o nível de audição e a frequência (PTA – *Pure Tone Average*)

Verifica-se um aumento do limiar de audição entre o pré e o pós-viagem espacial, sendo a alteração mais significativa para frequências mais baixas.

Fonte: Roller, C. A., & Clarck, J. B. (2003). Short-duration space flight and hearing loss. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 129(1), 98-106. doi:10.1016/s0194-5998(03)00523-0.

Comparando a condução óssea e aérea antes e depois das viagens espaciais, verificam-se alterações no limiar de resposta em 100% dos astronautas imediatamente após regressarem à terra, sendo que 81% destes apresentam alterações permanentes deste limiar de resposta.⁹

Quanto à etiologia desta perda, verifica-se que ainda não existe uma concordância total quanto a este tópico, podendo existir vários fatores a contribuir para uma degradação da capacidade auditiva.

Nas viagens espaciais e na estadia na ISS por períodos mais prolongados, os astronautas são expostos a níveis elevados de ruído. Como é sabido, a exposição ao ruído é um fator que contribui para a diminuição da acuidade. Em 2004, Abel *et al*, reconhecendo que níveis elevados de ruído causam alterações significativas a nível auditivo, gravaram o ruído ambiente desta Estação e detetaram que o mesmo apresentava uma intensidade sonora de 72 decibéis. Assim, juntaram 5 grupos de 25 pessoas e dividiram-nos em 3 subgrupos, um grupo de controlo que não foi exposto a qualquer ruído (constituído por 5 indivíduos), um grupo exposto continuamente ao ruído gravado na ISS (constituído por 10 indivíduos) e um grupo exposto apenas durante o dia ao ruído gravado na ISS (constituído por 10 indivíduos). Para cada grupo, este estudo decorreu durante 4 dias, sendo, seguidamente, analisado um grupo de 25 indivíduos diferentes. Os testes realizados antes e depois da exposição não mostraram alterações significativas em qualquer um dos grupos, comprovando, assim, que o ruído poderá não ser o fator mais importante para a diminuição da acuidade auditiva. Todavia, tratou-se de um estudo com grupos reduzidos e que testou uma exposição relativamente curta ao ruído da ISS, o que pode também limitar as conclusões tiradas deste estudo. Além disso, verifica-se que apenas foi testada a componente sonora neste estudo, sendo que, muitas vezes, o efeito sinérgico entre o ruído e a vibração tem um papel importante na degradação da audição.¹¹ Apesar das limitações do estudo anterior, o padrão de perda audiométrica não é comparável ao expectável para níveis similares de exposição ao ruído como aqueles que existem na ISS, o que também demonstra que deverá haver mais fatores a contribuir para a esta diminuição.¹²

Tal como explanado anteriormente, para a audição, os ossículos movem a linfa existente no interior do ouvido interno que, por sua vez, estimula células ciliadas no

ouvido que enviam sinais a regiões superiores do cérebro. Em condições de microgravidade, o peso dessa linfa será diferente do peso que a mesma tem na Terra, podendo afetar a funcionalidade dos ossículos e, por consequência, a audição.⁹

A microgravidade tem também impactos, já estudados e bem identificados, no sistema vestibular.¹² Sendo este sistema resultado de órgãos existentes no ouvido, poder-se-á assumir alguma sobreposição com a função auditiva também mediada por esta estrutura. Apesar da inexistência de estudos concretos sobre a influência da microgravidade no processamento auditivo, a sua influência no processamento vestibular e visual encontra-se já estabelecida, pelo que múltiplos autores propõem que, dados os elos de ligação entre os sistemas visual, vestibular e auditivo, poderão existir impactos da microgravidade no processamento auditivo que ainda não estão bem estabelecidos. Admite-se, atualmente, que os sistemas sensitivos humanos se encontram “calibrados” para a superfície terrestre, sendo que a exposição a condições de gravidade diferentes das padrão interferirão no processamento cerebral das informações sensoriais.

MODIFICAÇÕES SINÁPTICAS NAS CÉLULAS CILIADAS

Até bem recentemente, a comunidade científica associava as viagens espaciais a um aumento da densidade das sinapses ciliadas do utrículo dos mamíferos.¹⁴ No entanto, em 2017, foi publicado um estudo bastante completo e inovador, o qual propõe uma diminuição da densidade dessas sinapses (Figura 8). A diferença entre os resultados dos diferentes estudos poderá dever-se à utilização de modelos animais diferentes e com diferenças corporais importantes, nomeadamente ao nível do índice de Massa Corporal. Além disso, o estudo da densidade das sinapses foi diferente entre os diversos estudos, assentando ao mais recentes em análises mais completas que excluía as proteínas pré-sinápticas não ligadas a proteínas pós-sinápticas e que se encontravam no citoplasma.¹⁵ Assim, sugere-se a realização de novos e mais aprofundados estudos que permitam tirar conclusões sólidas sobre as modificações sinápticas que ocorrem ao nível das células supramencionadas.

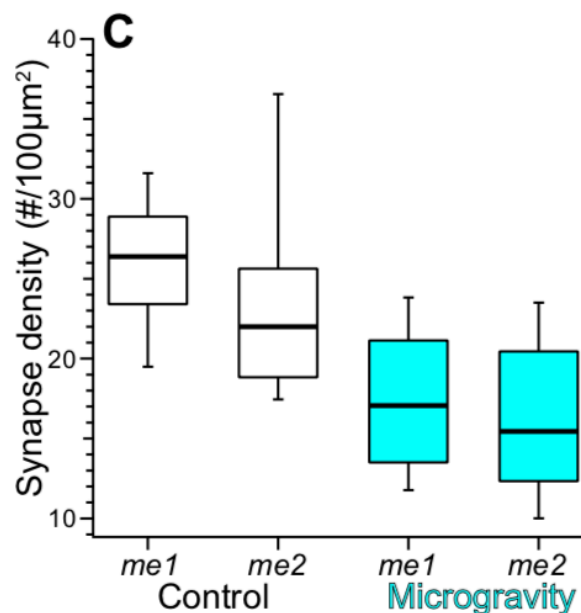


Figura 8 - Densidade das sinapses ciliadas do utrículo: controlo vs. Microgravidade

Fonte: Sultemeier, D. R., Choy, K. R., Schweizer, F. E., & Hoffman, L. F. (2017). Spaceflight-induced synaptic modifications within hair cells of the mammalian utricle. *Journal of Neurophysiology*, 117(6), 2163-2178. doi:10.1152/jn.00240.2016

Todavia, apesar de inovador, o estudo anterior foca-se nas células ciliadas do utrículo, responsável pelo equilíbrio garantido pelo sistema vestibular, ficando por fazer estudos semelhantes sobre as células específicas da cóclea, os quais poderão apresentar conclusões semelhantes que justifiquem as diferenças da acuidade auditiva com a presença por longos períodos no Espaço. Estando o sistema auditivo dependente de um balanço de forças a atuarem sobre o fluido presente no ouvido interno e tendo as células ciliadas na membrana basilar do ducto coclear um papel importante na conversão do sinal sonoro em sinal elétrico transmitido ao cérebro, poderão existir alterações sinápticas capazes de justificar as alterações da acuidade auditiva encontradas nos astronautas.

EFEITOS DO SEXO NA ADAPTAÇÃO AO ESPAÇO

O cérebro humano apresenta várias diferenças entre os sexos na anatomia, na diferenciação e no desenvolvimento neuronal, neuroquímico e nas respostas a estímulos externos. Além disso, vários distúrbios nervosos centrais apresentam diferenças em termos de incidência e etiologia em homens e mulheres. Assim, presume-se que poderão existir diferenças relevantes no que diz respeito aos efeitos da exploração espacial.

Apesar da importância da representação de todos os sexos nas várias vertentes da ciência, atualmente, ainda se verifica que a grande maioria dos astronautas é do sexo masculino, sendo o número de mulheres que integra os corpos de trabalho na área espacial ainda diminuto.

Vários estudos epidemiológicos mostraram que a acuidade auditiva diminui com a idade em ambos os sexos. Todavia, diminui mais rapidamente em homens do que em mulheres na maioria das idades e na maioria das frequências. Além disso, a probabilidade de ter uma diminuição da acuidade auditiva significativa é 5,5 vezes superior em homens do que em mulheres. Assim, constata-se que poderão existir diferenças entre os sexos com impacto na adaptação ao Espaço, pelo que poderá esta constituir uma área a merecer um estudo mais pormenorizado por forma a adequar as estratégias de prevenção e de tratamento dos astronautas consoante este fator.

Nos E.U.A., a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) tem, há algumas décadas, um programa de monitorização audiométrica com pelo menos um teste auditivo por ano durante a carreira de astronauta (ou mais frequente se efetuarem missões espaciais). A maioria dos dados obtidos através desta base de dados não estão ainda publicados, sendo, todavia, de destacar que resultados preliminares mostram que a população feminina tem um limiar auditivo melhor do que os homens em todas as épocas da vida desde os 30 anos, altura em que, geralmente, iniciam a sua carreira e em que os seus dados começam a ser recolhidos pela NASA e constam nesta base de dados. Com base nos dados da referida base de dados que se reporta exclusivamente à população de astronautas da NASA, o limiar auditivo é idêntico entre os dois ouvidos na população feminina que consta da mesma até aos 55 anos; a partir desta idade, a amostra de população feminina é relativamente diminuta, sendo que os dados recolhidos até à data

mostram um limiar auditivo ligeiramente melhor à esquerda do que à direita. Por outro lado, os astronautas masculinos apresentam maior perda da acuidade auditiva à esquerda do que à direita (Figura 9), o que é consistente com vários estudos epidemiológicos, particularmente com indivíduos dextros que lidam com armas de fogo, dado o passado militar de muitos dos astronautas dos quadros da NASA. A base de dados, apesar de ainda serem conhecidos apenas os resultados preliminares, mostra um declínio da audição similar ao expectável em cada um dos géneros, pelo que se considera que as viagens espaciais não afetarão de forma diferentes homens e mulheres.¹⁶

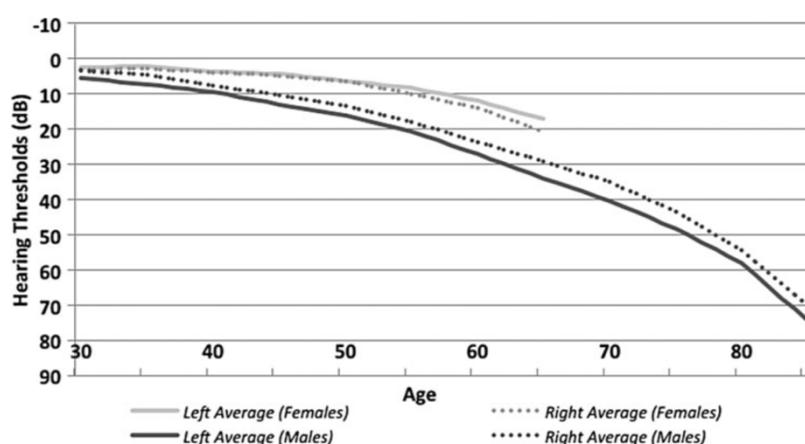


Figura 9 - Perfil auditivo de homens e mulheres astronautas por idade

Fonte: Reschke, Millard & Cohen, Helen & M Cerisano, Jody & Clayton, Janine & Cromwell, Ronita & Danielson, Richard & Hwang, Emma & Tingen, Candace & Allen, John & Tomko, David. (2014). Effects of Sex and Gender on Adaptation to Space: Neurosensory Systems. *Journal of women's health* (2002). 23. 959-62. 10.1089/jwh.2014.4908.

Apesar de parecer não existir diferença na acuidade auditiva entre homens e mulheres que viajam para o espaço, o número de mulheres é ainda relativamente reduzido, pelo que estas devem ser encorajadas a integrar os quadros dos voos espaciais e os programas de pesquisa científica da área, para que dados mais sólidos sejam reunidos e também para que medidas mais personalizadas sejam tomadas, por forma a evitar e prevenir efeitos nefastos a longo prazo, independentemente do sexo.

SUBSTÂNCIA BRANCA

A substância branca é composta por diferentes células nervosas mielinizadas, ou axônios de células nervosas, que conectam as áreas de substância cinzenta entre si.¹⁶ O papel da substância branca era relativamente desprezado, sendo-lhe atribuído um papel passivo na transmissão da informação entre as regiões de substância cinzenta, as grandes regiões de processamento da informação neuronal. Todavia, estudos recentes provaram o papel preponderante que a substância branca tem na aprendizagem e na patologia cerebral.¹⁸

O cérebro humano apresenta a capacidade de prever a sensação auditiva a que estaremos expostos, sendo surpreendido por estímulos auditivos que não os programados previamente, e em que não houve a devida preparação para acomodar os mesmos. Assim, os erros auditivos, ou seja, os estímulos que surpreendem o sistema auditivo, são transmitidos através de uma rede neuronal que se interconecta pela substância branca, o que denota a importância que estas estruturas têm no processo auditivo em si, fazendo a interface de ligação entre os diversos centros processadores dos estímulos auditivos.¹⁹

Muito recentemente, foi lançado um estudo que propõe alterações da distribuição de água livre extracelular intracraniana e da substância branca a nível cerebral com as viagens espaciais. O volume de água livre intracraniana está condicionado pela difusão de moléculas de água que pode ser afetada pela densidade mielínica, pela integridade membranar e pela organização de fibras mielinizadas, pelo que esse volume é uma medição indireta destas componentes. Verificou-se um aumento do volume de água livre intracraniana nas regiões frontal, temporal e occipital entre o pré e o pós-viagem espacial, sendo as diferenças encontradas, estatisticamente significativas. Além disso, constatarem-se alterações da substância branca ao nível das regiões dos fascículos longitudinais inferior e superior, do trato córtico-espinhal e dos pedúnculos cerebrais.²⁰

Apesar de o estudo não ser focado na audição e de as alterações encontradas não serem nas regiões tipicamente associadas a disfunções auditivas centrais, podemos estar perante uma primeira abordagem a uma possível explicação para a diminuição da acuidade auditiva em astronautas. Tendo este estudo aberto a porta a que alterações da substância branca, com um reconhecido papel no processamento da informação auditiva, poder-se-ão agora começar a desenvolver novos estudos no sentido de esclarecer se esta é, de facto, uma possível explicação a somar às anteriores já apresentadas. Certamente que no futuro, mais estudos serão desenvolvidos nesta área, podendo beneficiar o tratamento de diversas patologias, nomeadamente desenvolvendo-se uma medicina mais vocacionada para as necessidades de populações especiais e mais dirigida aos problemas que enfrentam.

CONCLUSÃO

A exploração espacial é o culminar de longos anos de evolução científica. Atualmente, não parece haver freio na vontade do ser humano em visitar o Espaço e aquilo que o rodeia. Fala-se já da possibilidade de, num futuro não assim tão longínquo, iniciar viagens espaciais comerciais a que qualquer um poderá ter acesso, mediante a sua bolsa individual. Assim, reveste-se de grande importância conhecer os efeitos que estas viagens espaciais poderão ter na saúde humana, nomeadamente na acuidade auditiva.

Na atualidade, sabe-se que as viagens espaciais têm impacto na audição do ser humano, provocando uma perda da acuidade auditiva temporária e permanente. Todavia, a etiologia dessa perda não é ainda conhecida, devendo ter uma base multifatorial. Os níveis de ruído a que os astronautas estão expostos, aliados à vibração dos motores das máquinas que permitem estas viagens espaciais, poderão desempenhar um papel nessa diminuição da acuidade auditiva. Não é, no entanto, de descurar o efeito que as alterações sinápticas das células do utrículo poderá ter na audição, levando os dados mais recentes a acreditar que existirá uma certa plasticidade cerebral que poderá condicionar diferentes alterações neuronais e sinápticas. Outro dos fatores que contribui para as alterações da acuidade auditiva poderá ser a substância branca cerebral e a água livre intracerebral, áreas de estudo ainda muito recentes e com muito potencial de descobertas inovadoras. Finalmente, a aquisição de dados permitirá criar bases com potencial para estudar os efeitos que as viagens espaciais têm nos astronautas, comparando os sexos e permitindo uma medicina mais aperfeiçoada a cada um dos sexos.

Em suma, o presente trabalho mostra, essencialmente, que esta é ainda uma área muito pouco estudada, com um longo caminho por percorrer, sugerindo-se o desenvolvimento de mais trabalhos em articulação entre as diferentes agências espaciais mundiais por forma a ter dados mais robustos, mais representativos e mais fidedignos da realidade.

AGRADECIMENTOS

Um trabalho é muito mais do que um conjunto de palavras, é muito mais do que uma mera exposição de um conjunto de ideias. É uma representação em papel de um bocadinho de quem o escreve e de quem o concebe. Assim, agradecer aos que mais contribuíram para ele durante o período em que a sua conceção decorre é uma obrigação do seu autor, para deixar mais um bocadinho de si e de quem o marcou nas páginas do mesmo.

Em primeiro lugar, à MSc Mafalda Carvalho, dirijo o mais profundo e honesto agradecimento pelo trabalho e paciência na orientação do trabalho, acima de tudo pela paciência e compreensão. Ao Dr. Marco Simão, agradeço também o apoio e disponibilidade na orientação do meu trabalho. Ao Prof. Dr. Óscar Dias, um enorme obrigado pela ajuda e apoio, não só na elaboração deste Trabalho Final de Mestrado, mas também nos últimos anos do tão longo e arduo Mestrado Integrado em Medicina.

Em segundo lugar, há que dar o merecido destaque àqueles que nos ouvem e aturam diariamente, nos bons e nos maus momentos, quando já nem nós temos paciência para nós próprios: a família. Obrigado, mãe, não só pelo apoio e leituras deste trabalho, mas também pelos últimos 24 anos que aqui culminam! Obrigado também aos meus avós e à minha tia pela compreensão nos momentos em que não tinha tempo para estar convosco! À minha afilhada e ao meu afilhado, o mais sincero agradecimento pelos sorrisos e brincadeiras!

Em terceiro lugar, há que guardar os projetos mais especiais com algum carinho e eu não seria quem sou hoje sem as Comissões Organizadoras do Hospital dos Pequeninos, sem uma Direção e um Conselho Fiscal da Associação Nacional de Estudantes de Medicina e sem uma Comissão Organizadora da Noite da Medicina, os projetos que mais me marcaram e que levarei para a vida!

Por fim, mas não menos importante, à minha família escolhida, os meus FMÉLicos, e não só, preferidos! Obrigado: ao André, que um lugar tão importante ocupa; à Teresa, ao Gonçalo, à Rita e ao Jorge, por serem a família que me escolheu; ao Pedro e ao Marco, os meus Estarolas nos jantares mensais de atualização dos dilemas da vida; à Tinoco,

pelos anos de companheirismo e por ser a melhor companheira de turma que podia pedir; à Pilar e à Cláudia, pelos Árvores de Mel em *ThrowBacks* que me aturaram; à Marta, à Mariana e à Rita, pela amizade que perdurará; ao Lisboa, ao Diogo, ao Alexandre, à Susana, ao João, à Bia, ao Vasyl, à Ritinha, à Inês, ao José e a tantos outros, por serem a minha voz da consciência, sempre prontos a uma palavra amiga e a darem-me o apoio de que tanto preciso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¹ Aerospace.org. (2018). *A Brief History of Space Exploration | The Aerospace Corporation*. [online] Disponível em: <https://aerospace.org/story/brief-history-space-exploration> [Acedido a 1 de março de 2019].
- ² Asma.org. (desconhecido). *AsMA | Aerospace Medical Association*. [online] Disponível em: <https://www.asma.org/about-asma/careers/aerospace-medicine> [Acedido a 3 de março de 2019].
- ³ NASA. (2009, última atualização em 2017). *What is Microgravity?*. [online] Disponível em: <https://www.nasa.gov/centers/glenn/shuttlestation/station/microgex.html> [Acedido a 4 de março de 2019].
- ⁴ Amboss.com. (2019). *The ear* [online]. Disponível em: <https://www.amboss.com/us> [Acedido a 5 de abril de 2019].
- ⁵ Hall, J. E. (2016). *Guyton and Hall textbook of medical physiology*. Elsevier.
- ⁶ Rouvière, H., & Delmas, A. (2005). *Anatomía Humana: Descriptiva, Topográfica y Funcional. Tomo 1. Cabeza Y Cuello*. Elsevier Masson.
- ⁷ Netter, F.H. (2014). *Netter's Atlas of Human Anatomy*. Elsevier.
- ⁸ InformedHealth.org (2017). *Hearing loss and deafness: Normal hearing and impaired hearing* [online]. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK390300/> [Acedido a 4 de março de 2019].
- ⁹ Kadem, Mason. (2018). The etiology of spaceflight-associated hearing loss. 87. 31-3. 10.1007/978-0-387-68164-.
- ¹⁰ Roller, C. A., & Clarck, J. B. (2003). Short-duration space flight and hearing loss. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 129(1), 98-106. doi:10.1016/s0194-5998(03)00523-0.
- ¹¹ Abel SM, Crabtree B, Baranski J V, et al. (2004). Hearing and performance during a 70-h exposure to noise simulating the space station environment. *Aviat Space Environ Med.*, 75(9):764–70.
- ¹² Buckey, J., Jr., Musiek, F., Kline-Schoder, R., Clark, J., Hart, S., & Havelka, J. (2001). Hearing loss in space. *Aviat Space Environ Med.*, 72(12), 1121-1124.

- ¹³ Kornilova, L. N., Alekhina, M. I., Temnikova, V. V., Reshke, M., Sagalovich, S. V., Malakhov, S. V., Vasin, A. V. (2006). The effect of a long stay under microgravity on the vestibular function and tracking eye movements. *Human Physiology*, 32(5), 547-555. doi:10.1134/s0362119706050082.
- ¹⁴ Ross MD. (2000). Changes in ribbon synapses and rough endoplasmic reticulum of rat utricular macular hair cells in weightlessness. *Acta Otolaryngol* 120: 490– 499. doi:10.1080/000164800750045983.
- ¹⁵ Sultemeier, D. R., Choy, K. R., Schweizer, F. E., & Hoffman, L. F. (2017). Spaceflight-induced synaptic modifications within hair cells of the mammalian utricle. *Journal of Neurophysiology*, 117(6), 2163-2178. doi:10.1152/jn.00240.2016.
- ¹⁶ Reschke, Millard & Cohen, Helen & M Cerisano, Jody & Clayton, Janine & Cromwell, Ronita & Danielson, Richard & Hwang, Emma & Tingen, Candace & Allen, John & Tomko, David. (2014). Effects of Sex and Gender on Adaptation to Space: Neurosensory Systems. *Journal of women's health* (2002). 23. 959-62. 10.1089/jwh.2014.4908.
- ¹⁷ Klein, S. B., & Thorne, B. M. (2007). *Biological psychology*. New York: Worth.
- ¹⁸ Fields, D. (2018). White Matter. *Scientific American*, 298(3), 54-61.
- ¹⁹ Oestreich, L. K., Randeniya, R., & Garrido, M. I. (2019). Auditory white matter pathways are associated with effective connectivity of auditory prediction errors within a fronto-temporal network. *NeuroImage*.
- ²⁰ Lee, J.K., & Koppelmans, V., & Riascos, R., & Hasan, K., & Pasternak, O., & Mulavara, A., & Bloomberg, J., & Seidler, R. (2019). Spaceflight-Associated Brain White Matter Microstructural Changes and Intracranial Fluid Redistribution. *JAMA Neurology*. 10.1001/jamaneurol.2018.4882.